



Variación temporal de glaciares en la Cordillera del Viento (Neuquén, Argentina) para el período 1963-2012

D. Groch¹ y M.G. Cogliati¹

¹ LANTEL - Departamento de Geografía/Facultad de Humanidades - Universidad Nacional del Comahue. marisa.cogliati@fahu.uncoma.edu.ar

Resumen

El estudio de los glaciares ha adquirido gran relevancia internacional, debido a su importante actuación como indicadores de cambio climático. Debido a la dificultad de su estudio, especialmente en regiones de difícil acceso, las investigaciones glaciológicas avanzaron gracias al desarrollo de tecnologías de sensoramiento remoto. Los avances recientes en fotogrametría permitieron reanalizar la información histórica existente, extendiendo los registros glaciológicos previos a la información de satélites ópticos de mediana/alta resolución con niveles de precisión aceptables. Las fotografías aéreas y las imágenes satelitales son actualmente herramientas complementarias, capaces de caracterizar y analizar fluctuaciones en geoformas glaciales.

Los glaciares de la Patagonia argentina poseen trascendencia como reserva de agua dulce. Este trabajo presenta la reconstrucción histórica de los cuerpos de hielo existentes en la Cordillera del Viento para el período 1963-2012, para evaluar las fluctuaciones de los mismos. Se realizó un relevamiento de los glaciares en dicha cordillera, a partir de fotografías aéreas históricas de 1963 e imágenes satelitales de alta resolución disponibles en Google Earth para los años 2006 y 2012. A partir de la información, se analizaron parámetros morfométricos y morfológicos siguiendo lineamientos internacionales.

Se relevaron 151 glaciares (5.94 km²) en 1963 y 29 (1.10 km²) en 2006-2012, reduciéndose significativamente en un -81.51% (-4.84 km²) la superficie emplazada por ellos en dicho período, a una tasa promedio de fusión de -0.10 km²/año. Los glaciares considerados como glaciaretos y con forma remanente, fueron los más afectados. No se consideraron en el presente estudio los cuerpos de hielos existentes en el Vn. Domuyo, ni aquellos con una superficie inferior a la mínima glacial (≥ 0.01 km²).

Palabras clave: glaciares, fotografías aéreas, imágenes satelitales, Neuquén.

Introducción

Existen pocas regiones en el mundo con condiciones naturales propicias para la formación de glaciares. La Cordillera del Viento, en el extremo sur de Sudamérica, es una de ellas. Por eso, el estudio, monitoreo y protección de los glaciares en esta región del planeta, es importante. Los glaciares ocupan un lugar destacado a nivel mundial como indicadores de cambios climáticos en diversas regiones del planeta (IANIGLA, 2010).



El desarrollo de métodos particularmente referidos a las tecnologías de sensores remotos, propiciaron las investigaciones glaciológicas. Los avances recientes permiten llevar a cabo estudios con niveles de precisión aceptables. Ejemplo de ello es la misión GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), al estudiar los océanos, geología y clima alrededor del mundo, siendo utilizado ampliamente para analizar los casquetes polares a partir de técnicas desarrolladas por oceanógrafos, hidrólogos, glaciólogos, entre otros.

La utilización de fuentes remotas complementarias, permiten caracterizar y analizar actualmente las fluctuaciones en geoformas glaciales. Las experiencias de Bajracharya y Shrestha (2011), Ahumada y otros (2015) y Bajracharya y otros (2015) demostraron la utilidad que representa Google Earth para la utilización de imágenes satelitales de alta resolución en estudios geomorfológicos y glaciológicos. Los mismos realizaron inventarios y observaron oscilaciones de los cuerpos de hielo en el tiempo.

Se consideró apropiado aplicar técnicas de sensoramiento remoto en la Cordillera del Viento, localizada parcialmente en los departamentos Minas y Chos Malal, entre los $36^{\circ}06' - 37^{\circ}22' \text{ S}$ y $70^{\circ}21' - 70^{\circ}40' \text{ W}$. La zona se caracteriza por poseer una marcada amplitud altimétrica, entre los 876.0 y los 4,709.0 msnm. En el área los antecedentes se limitan a Falaschi (2015) y Falaschi y otros (2016) con estudios en el área del Vn. Domuyo. Los mismos denotaron la existencia de 25.4 km² de hielo para el año 2009, a partir de la utilización de imágenes satelitales ALOS (Advanced Land Observing Satellite). Estimaron un tiempo de vida de 53.0 años para la totalidad de los cuerpos, debido a la tasa de fusión de -0.48 km²/año.

Materiales y métodos

Fueron utilizadas fotografías aéreas históricas de 1963 e imágenes satelitales de alta resolución Quick Bird 2 y Geo Eye 1 disponibles en Google Earth (Tabla 1).

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales utilizadas.

Parámetros	I.S. Quick Bird 2	Im. Sat. Geo Eye 1
Fecha	21/02/2006	06/04/2012
Altitud	400/450 km	681 km
Resolución espacial	2.16/2.44 m (visible)	1.65 m (visible)
Color	Real (RGB 4-3-2)	Real (RGB 3-2-1)
Órbita	Heliosincrónica	Heliosincrónica
Inclinación de la órbita	98.0°	98.1°

Las fotografías aéreas fueron sometidas a un proceso de ortorectificación, mediante la utilización del módulo COSI-Corr para ENVI 5.0, siguiendo los lineamientos de Ayoub y otros (2009). Las imágenes se utilizaron para el mapeo y estimación de los parámetros morfométricos y morfológicos de los glaciares del año 1963 a través del software QGIS.

Para la actualización de la situación preexistente en 1963, se seleccionaron imágenes satelitales de la Cordillera del Viento para los años 2006 y 2012. Se utilizaron escenas de ambas fechas para cubrir la totalidad de la misma, teniendo en cuenta que se encuentren desprovistas de nubes y con la menor cubierta nieva estacional factible.

La información fue georreferenciada y analizada en los mismos parámetros que las imágenes de 1963.

Toda la información remota obtuvo finalmente un Datum WSG-84 y una proyección UTM (Zona 19 Sur).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos del procesamiento de las fotografías aéreas e imágenes satelitales, con su posterior análisis de parámetros morfométricos y morfológicos, son expuestos en la Tabla 2.

El estudio demostró una reducción de la superficie total glaciar en un -81.51 % al año 2012, equivalente a 4.84 km² de hielo, a una tasa promedio de fusión de -0.10 km²/año. En la misma área, Falaschi (2016) determinó para el período 1990-2008 una tasa promedio de fusión de mayor valor perteneciente al Vn. Domuyo (-0.48 km²/año), perdiendo 8.86 km² de hielo.

En la Tabla 2 se puede consultar los parámetros morfométricos que muestran una disminución de 15.53 % (-4.18 km²) del área en los glaciares tipo “glaciaretas”, un 16.19% en los clasificados con forma “remanente”, un -3.20% en los clasificados como “perfil longitudinal “regular”, un 86.21 % con una actividad de la lengua clasificada como “retroceso marcado”, un 8.06 % en los glaciares con morrenas en “contacto con debris” y un 21.01 % sin morrenas aguas abajo, y 0.11 % con cubierta de detritos “incierto”. Si bien existió una reducción notable en la cantidad de cuerpos de hielo (-122), los glaciares que derivan sus aportes a la cuenca del río Neuquén es de un 86.21 %.

Tabla 2. Parámetros morfométricos y morfológicos de los glaciares analizados en la Cordillera del Viento para el período 1963-2012.

Parámetro		1963		2006 y 2012		Variaciones	
		Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%
Superficie total	Total Cuerpos de Hielo	151	100.00	29	18.93	-122	-81.51
	Superficie Total (km ²)	5.94		1.10		-4.84	
Clase primaria	Incierto o varios	1	0.66	0	0.00	-1	-0.66
	Glaciares de montaña	12	7.95	7	24.14	-5	16.19
	Glaciaretas	138	91.39	22	75.86	-116	-15.53
Forma	Incierto o varios	4	2.65	1	3.45	-3	0.80
	Circo	2	1.32	2	6.90	0	5.57
	Apron de hielo	6	3.97	4	13.79	-2	9.82
	Remanente	139	92.05	22	75.86	-117	-16.19
Perfil longitudinal	Incierto o varios	9	5.96	0	0.00	-9	-5.96
	Regular	135	89.40	25	86.21	-110	-3.20
	Colgante	7	4.64	4	13.79	-3	9.16
Actividad de la	Retroceso	0	0.00	25	86.21	25	86.21



lengua	marcado						
	Retroceso leve	0	0.00	4	13.79	4	13.79
Morrenas 1 (en contacto)	Sin morrenas	118	78.15	25	86.21	-93	8.06
	Debris, incierto si es morrenico	31	20.53	4	13.79	-27	-6.74
	Morrenas, tipo incierto o no listado	2	1.32	0	0.00	-2	-1.32
Morrenas 2 (aguas abajo)	Sin morrenas	89	58.94	11	37.93	-78	-21.01
	Morrena lateral y/o media	15	9.93	5	17.24	-10	7.31
	Combina. terminal y lateral	7	4.64	3	10.34	-4	5.71
	Debris, incierto si es morrenico	35	23.18	9	31.03	-26	7.86
	Morrenas, tipo incierto o no listado	5	3.31	1	3.45	-4	0.14
Cubierta de detritos	Incierto	9	5.96	0	0.00	-9	-5.96
	Libre de detritos	130	86.09	25	86.21	-105	0.11
	Parcialmente cubierto de detritos	12	7.95	4	13.79	-8	5.85
Cuenca hidrográfica	Río Colorado	22	14.57	4	13.79	-18	-0.78
	Río Neuquén	129	85.43	25	86.21	-104	0.78

Conclusiones

Del análisis de los glaciares de 1963, 2006 y 2012 en la Cordillera del Viento se detectó que la superficie emplazada por los cuerpos de hielo descubiertos, presentó una disminución del -81.51 %. Se midió una desaparición de 4.84 km² de superficie glaciar en para los 49 años considerados, lo cual constituiría un efecto del cambio climático en nuestra región, por lo que se sugiere el establecimiento de nuevas líneas de investigación en este punto.

Asumiendo una velocidad media constante de disminución de superficie de hielo estimada en -0.10 km²/año, es de esperar que de mantenerse las condiciones climáticas que existieron en las últimas cinco décadas en un futuro cercano, los glaciares existentes en la cordillera disminuirían en su totalidad en unos 11.4 años. Otros estudios en la misma área, determinaron velocidades de fusión aún más veloces que las expuestas en este trabajo.

Teniendo en cuenta la susceptibilidad que poseen los glaciaretos para alcanzar tamaños inferiores al límite de la superficie mínima glaciar (≥ 0.01 km²), la reducción de 116 cuerpos (mayormente remanentes) al año 2012 debe ser tomada en cuenta.

Agradecimientos



Se agradece el aporte financiero de Universidad Nacional del Comahue y las contribuciones de la Dra. Andrea Coronato y el Dr. Luis Bertani.

Referencias

- Ahumada, A. L., G.P. Ibáñez Palacios, J. Carilla, M. Toledo. y S.V. Páez. 2015. Observaciones geomorf. en glaciares de escombros de los Andes tropicales de Argentina. *Acta geológica lilloana* 27 (2): 63–76, 2015.
- Ayoub F., S. Leprince and L. Keene. 2009. User's Guide to COSI-CORR Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation. pp 1-38. California Inst. of Tech. Pasadena, USA.
- Bajracharya S.R. y B. Shrestha. 2011. The status of glaciers in the Hindu Kush Himalayan region. ICIMOD, Kathmandú, 140 pp.
- Bajracharya S.R., S.B. Maharjan, F. Shrestha, W. Guo, S. Liu, W. Immerzeel and B. Shrestha. 2015. The glaciers of the Hindu Kush Himalayas: current status and observed changes from the 1980s to 2010. *International Journal of Water Resources Development*, 31:2, 161-173.
- Falaschi, D. 2015. Identificación, caracterización y dinámica de las geoformas glaciales y periglaciales en la Cord. de los Andes a través de sensores remotos. Tesis Doctoral. UNLP. La Plata, Argentina. 343 pp.
- Falaschi, D., M. Masiokas, T. Tadono, and F. Couvreur. 2016. ALOS-derived glacier and rock glacier inventory of the Vn Domuyo, southernmost Central Andes, Argentina. *Zeitschrift für Geomorphologie*. Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany. Pp. 1-14.
- IANIGLA-CONICET. 2010. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial. Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza. 87 pp.
- Leprince, S., F. Ayoub, Y. Klinger and J.P. Avouac. 2007a. Co-Registration of Optically Sensed Images and Corr. (COSI-Corr): an Operational Methodology for Ground Deformation Measurements. *IEEE Int Geosc. and Remote Sens. Symposium*. Barcelona July 2007.
- Leprince, S., S. Barbot, F. Ayoub, and J.P. Avouac. 2007b. Automatic and Precise Orthorectification, Correg, and Subpixel Corr. of Satellite Images, Application to Ground Deformation Measurements. *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sens*, 45, 6, 1529-1558.